

**CONCEPÇÃO DO REFORÇO DE EDIFÍCIOS DE BETÃO ARMADO  
PARA A ACÇÃO SÍSMICA**



**A. CARREIRA**  
Assistente  
E.S.T –UAIG  
Faro



**A. GOMES**  
Prof. Auxiliar  
DECivil - IST  
Lisboa

## **SUMÁRIO**

Neste artigo define-se uma metodologia para avaliação da segurança de edifícios existentes com estrutura de betão armado e estuda-se a concepção do reforço sísmico destes edifícios. Realiza-se a avaliação da segurança à acção sísmica de um edifício existente e ensaia-se um conjunto de soluções de reforço para o mesmo. Desenvolve-se um estudo comparativo entre as diversas soluções estudadas, em termos de comportamento sísmico e custos associados a cada intervenção de reforço.

## **1. INTRODUÇÃO**

A evolução da Regulamentação Sísmica Portuguesa no domínio das estruturas de betão tem ocorrido no sentido do agravamento da acção sísmica, envolvendo também o aumento dos custos e da complexidade de cálculos.

A entrada em vigor de uma nova norma coloca automaticamente as construções existentes numa situação de não conformidade com a mesma. Perante esta situação existem duas hipóteses de resolução do problema:

- demonstrar que a estrutura existente resiste às novas acções durante o seu período de vida residual, evitando-se assim a hipótese de uma intervenção de reforço que está geralmente associada a custos elevados (devido aos materiais, mão de obra, tecnologia e à necessidade de interromper a funcionalidade da estrutura). Para tal procura-se, dentro de certos limites que não ponham em causa a fiabilidade estrutural, ainda que a níveis inferiores aos da construção de raiz, maximizar resistências e minimizar os efeitos das acções em termos de cálculo;
- quando a hipótese anterior não for possível é necessário proceder ao reforço da estrutura. Procede-se a uma nova análise estrutural, com as novas dimensões dos elementos resistentes e as acções em vigor. Neste tipo de intervenção o mais relevante é o facto dos trabalhos de reforço poderem tornar impeditiva a utilização da estrutura, acarretando custos funcionais muito elevados. Sendo o aspecto funcional tão importante, por vezes a melhor solução de reforço não é a que minimiza os custos, mas a que torna menos impeditiva a utilização da estrutura. No entanto não devem ser ultrapassados determinados limites no acréscimo da resistência, pois tornariam a solução economicamente inviável.

## **2. METODOLOGIA ADOPTADA PARA O REFORÇO DE EDIFÍCIOS EXISTENTES PARA A ACÇÃO SÍSMICA**

As estruturas existentes construídas antes da entrada em vigor da actual regulamentação estão, naturalmente, dimensionadas e executadas segundo regras construtivas diferentes das hoje aplicadas. Por

esta razão não é aceitável proceder da mesma forma na avaliação da capacidade resistente de uma estrutura existente e num projecto de uma estrutura nova.

Neste subcapítulo apresenta-se a metodologia adoptada para a concepção do reforço de edifícios existentes com estrutura em betão armado, sujeitos à acção sísmica. O método de análise adoptado é constituído por várias fases, que em seguida se descrevem.

## 2.1 Avaliação estrutural

A elaboração de um projecto de reforço deverá ser sempre precedida da avaliação da estrutura existente, envolvendo:

- a) Recolha de informações gerais e históricas relativas à obra e projecto, como data da construção, regulamento aplicado no projecto inicial, estimativa do valor residual do edifício, estudo dos documentos de projecto e informações sobre as condições do edifício incluindo anteriores trabalhos de reparação ou reforço.
- b) Realização de uma inspecção que inclua a identificação do sistema estrutural, identificação de erros relacionados com o projecto, a construção e a manutenção, investigação das condições dos elementos não estruturais e sua possível contribuição estrutural e, nível e extensão da possível degradação dos materiais.
- c) Realização de ensaios “in situ” para avaliar as características da estrutura (como a geometria, distribuição de armaduras, tensões de rotura dos materiais e estado de conservação). Este procedimento é, muitas vezes, necessário devido à escassez de elementos de projecto para avaliar a estrutura. Para além disso os materiais podem apresentar-se degradados e a estrutura construída nem sempre corresponder exactamente ao projecto.

A inspecção dos aspectos geométricos é fundamental, evitando-se que suposições quanto às dimensões e disposições das peças conduzam a modelos estruturais erróneos, não compatíveis com o comportamento estrutural efectivo. Por outro lado, a inspecção geométrica pode ser mesmo imprescindível nos casos em que o projecto estrutural não nos é facultado.

- d) análise das condições de segurança.

Sendo a verificação da segurança estrutural o objectivo final da avaliação de estruturas existentes, o conhecimento das acções que actuam a estrutura ou poderão actuar nesta é fundamental. Pode também ser indispensável a definição de acções que já solicitaram a estrutura, muitas vezes causa de anomalias.

## 2.2 Avaliação da segurança dos edifícios existentes para a acção sísmica

A avaliação da segurança dos edifícios existentes à acção sísmica consiste em definir a relação entre a sua capacidade resistente e a acção sísmica regulamentar. Para tal, a metodologia adoptada baseia-se na comparação entre a força de corte basal total, ao nível do piso térreo, exigida pela combinação de acções que considera como acção de base o sismo e a força de corte basal total, ao nível do piso térreo, e que a estrutura existente resiste. O nível de segurança das estruturas existentes é então definido pela expressão 5.15, expressa em termos percentuais:

$$R_{\text{sismo}} = 100 \times \frac{\sum_i V_{Rdi}}{\sum_i V_{Sdi}} \quad (1)$$

Na expressão 1,

- $R_{\text{sismo}}$  representa a resistência, em percentagem, da estrutura existente ao sismo de projecto regulamentar;
- $V_{Rdi}$  é a força de corte basal, ao nível das fundações, que o elemento vertical “i” tem capacidade para resistir. A quantificação das capacidades resistentes dos elementos é baseada nas secções existentes (geometria das secções e pormenorização das armaduras) e nos valores característicos dos materiais. Os valores de  $V_{Rdi}$  são determinados pela expressão 2.

$$V_{Rdi} = \frac{M_{Rdi}^{inf} + M_{Rdi}^{sup}}{h} \quad (2)$$

em que:  $M_{Rd}^{inf}$  e  $M_{Rd}^{sup}$  são os momentos resistentes nas extremidades do elemento vertical correspondentes a um andar e  $h$  é a altura do elemento.

- $V_{Sdi}$  é a força de corte basal, ao nível do piso térreo, que a combinação de acções que considera como acção de base o sismo exige ao elemento vertical “i”. Para a determinação desta grandeza, optou-se por realizar uma análise elástica tridimensional baseada em espectros de resposta, cujos resultados dos esforços são obtidos dividindo os resultados desta análise pelo coeficiente de comportamento.

Em certas estruturas, nomeadamente estruturas com paredes, os esforços máximos podem não surgir ao nível do piso térreo, pelo que a avaliação da segurança deverá ser realizada ao nível de todos os pisos das estruturas. Para tal propõe-se a utilização da expressão 3 a todos os níveis do edifício em análise.

$$R_{sismo}(n) = 100 \times \frac{\sum_i V_{Rdin}}{\sum_i V_{Sdin}} \quad (3)$$

onde  $R_{sismo}(n)$  é a resistência da estrutura existente à acção sísmica ao nível do piso  $n$ ;  $V_{Rdin}$  é a força de corte, ao nível do piso “ $n$ ”, que o elemento vertical “ $i$ ” tem capacidade para resistir e  $V_{Sdin}$  é a força de corte, ao nível do piso “ $n$ ”, que a combinação de acções que considera como acção de base o sismo exige ao elemento vertical “ $i$ ”.

Por aplicação das expressões 1 e 3 independentemente em duas direcções ortogonais é possível definir o nível de resistência (em termos globais) do edifício existente em cada uma das direcções e tomar a decisão se é necessário ou não proceder ao reforço da mesma.

Embora esta seja a metodologia adoptada para avaliar a segurança dos edifícios existentes, deve também em cada caso verificar-se os estados limite definidos nos actuais regulamentos.

### 2.3 Concepção e dimensionamento do reforço sísmico de edifícios existentes

O reforço de edifícios existentes para a acção sísmica consiste em introduzir, na estrutura, novos elementos resistentes ou reforçar os já existentes, de forma que globalmente esta passe a ter capacidade suficiente para resistir à totalidade das acções sísmicas regulamentares. A metodologia adoptada no dimensionamento das soluções de reforço é idêntica à definida para a avaliação das estruturas existentes à acção sísmica.

De acordo com o referido, a resistência da estrutura reforçada é avaliada através da força de corte basal ao nível do piso térreo, por aplicação da expressão 1 e da força de corte ao nível de todos os pisos do edifício pela expressão 3. É de referir que nestas expressões os valores a considerar para  $V_{Rdi}$  e  $V_{Sdi}$  incluem os esforços dos elementos de reforço.

Para que seja viável a comparação entre as diferentes soluções de reforço adoptadas foi necessário definir um critério, que nesta metodologia, corresponde a que todas as soluções de reforço possuam capacidade de resistência à acção sísmica da ordem dos 100%. A satisfação deste critério envolve um processo iterativo que consiste em estudar um conjunto de soluções com distintos níveis de reforço até se atingir o nível de resistência desejado.

Através dos resultados obtidos da metodologia proposta é possível concluir quais as intervenções de reforço que conferem um melhor comportamento da estrutura para a acção sísmica.

## 3. CONCEPÇÃO DO REFORÇO SÍSMICO DE UM EDIFÍCIO EXISTENTE

Neste capítulo realiza-se o estudo de um edifício existente face à acção sísmica. Tendo-se observado que a segurança do mesmo era verificada apenas para níveis inferiores da acção sísmica regulamentar actuante definida pelo RSA [7], foi efectuada uma análise de um conjunto de soluções de reforço, estabelecendo-se comparação entre as diversas respostas obtidas em termos de frequência, esforços e deslocamentos horizontais. Neste estudo, em que o objectivo fundamental foi a melhoria do comportamento sísmico das estruturas, foi tida também em conta a vertente económica de cada solução analisada.

### 3.1 Descrição do edifício existente e características da estrutura

Trata-se de um edifício construído em 1971 em Faro. É constituído por sete pisos, destinando-se os pisos elevados a habitação e o rés do chão a comércio.

A estrutura é do tipo porticado constituída por lajes maciças de betão com 0.15m de espessura assentes em vigas (secção 0.22m × 0.50m) e pilares de betão armado. A distância piso a piso é de 3.0m de comprimento nos pisos elevados e 3.6m no rés-do-chão. As fundações do edifício são constituídas por sapatas interligadas entre si por lintéis de fundação. Os materiais utilizados na construção deste edifício correspondem ao betão B20 e ao aço A400. Na figura 1 e 2 apresenta-se um esquema da estrutura do edifício e na figura 3 as dimensões dos elementos estruturais verticais.

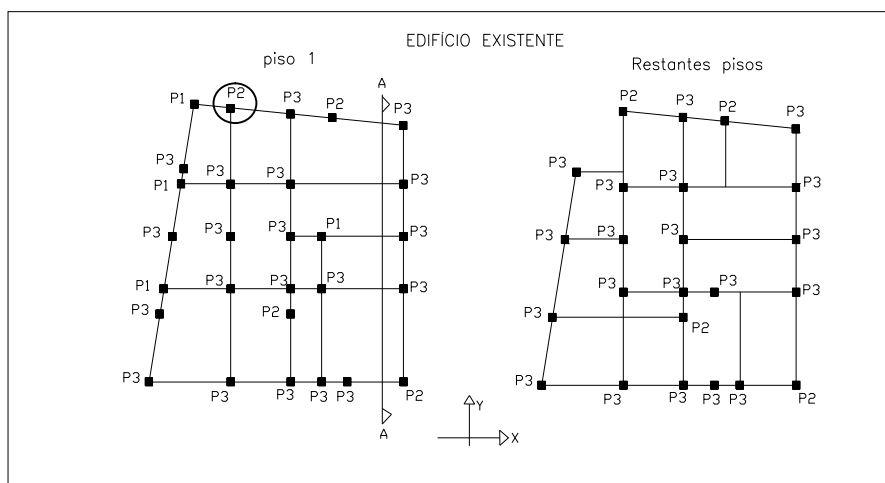


Figura 1: Planta estrutural do edifício existente.

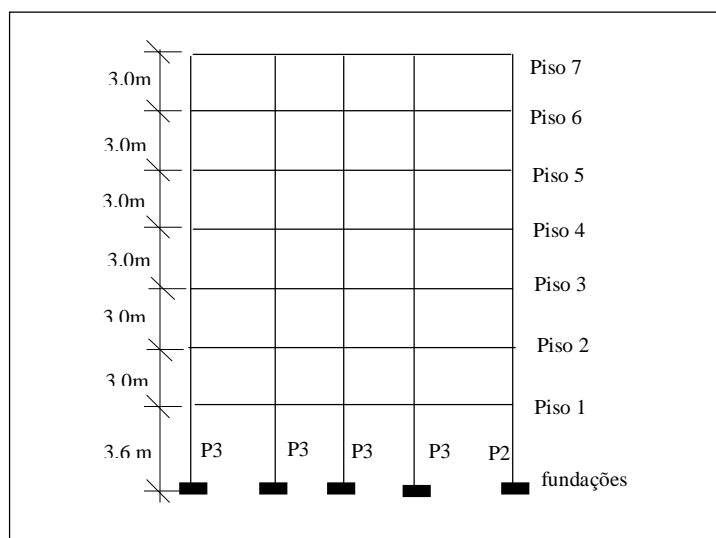


Figura 2: Corte A (assinalado na planta) do edifício existente.

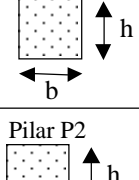
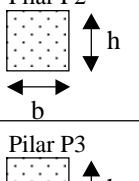
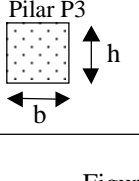
 Pilar P1	1º piso	2º piso	3º,4º piso	5º piso	6º,7º piso
	b=0.22 h=0.22				
 Pilar P2	b=0.22 h=0.30	b=0.22 h=0.30	b=0.22 h=0.30	b=0.22 h=0.30	b=0.22 h=0.22
 Pilar P3	b=0.22 h=0.45	b=0.22 h=0.40	b=0.22 h=0.35	b=0.22 h=0.30	b=0.22 h=0.22

Figura 3: Secção dos pilares da estrutura existente.

Relativamente às paredes não estruturais refere-se que estas são constituídas por alvenaria de tijolo. Ao nível do rés-do-chão do edifício, por se tratar de um piso destinado a comércio, a existência de paredes de alvenaria é muito reduzida, situação contrária à dos pisos superiores. Na análise da estrutura considerou-se a contribuição da resistência e rigidez destes elementos não estruturais, uma vez que a sua disposição provoca irregularidades em altura. As discontinuidades na vertical de sobre-resistências podem originar exigências de ductilidade local exageradas.

### 3.2 Quantificação da acção sísmica e combinações de acções

Relativamente às características do edifício em estudo e à sua localização refere-se que este pertence à zona sísmica A e está implantado num terreno de consistência média – terreno tipo II [1].

As massas associadas a cada piso da estrutura tiveram por base os seguintes valores das acções permanentes e variáveis actuantes na estrutura:

- peso próprio do betão \_\_\_\_\_ 25 KN/m<sup>3</sup>
- revestimentos \_\_\_\_\_ 1.5 KN/m<sup>2</sup>
- paredes interiores \_\_\_\_\_ 2.0 KN/m<sup>2</sup>
- paredes exteriores \_\_\_\_\_ 7.0 KN/m
- sobrecarga \_\_\_\_\_ 2.0 KN/m<sup>2</sup>

A massa utilizada para a acção sísmica é a correspondente à combinação quase permanente. Conjugando estes valores com as dimensões dos elementos associados a cada piso obtiveram-se as características de inércia de piso que se indicam no quadro 1.

Pisos	Massa (Ton)	Momento polar de inércia (Ton.m <sup>2</sup> )
Intermédios	206	6493
Cobertura	155	4886

Quadro 1: Características de inércia de cada piso da estrutura existente.

As combinações de acções adoptadas estão apresentadas nas expressões seguintes [1]:

$$\text{Combinação 1: } S_d = S_{Gk} + \gamma_q \times S_{Ek} + \psi_2 \times S_Q = S_{Gk} + 1,5S_{Ek} + 0,2 \times S_Q \quad (4)$$

$$\text{Combinação 2: } S_d = S_{Gk} - \gamma_q \times S_{Ek} + \psi_2 \times S_Q = S_{Gk} - 1,5S_{Ek} + 0,2 \times S_Q \quad (5)$$

### 3.3 Avaliação da capacidade resistente da estrutura existente

O procedimento adoptado, para quantificar a resistência global da estrutura à acção sísmica regulamentar, consiste na comparação entre a força de corte basal total ao nível das fundações provocada pela

solicitação sísmica ( $V_{sd}$ ), e a força que a estrutura é capaz de suportar considerando as secções existentes e as propriedades do material ( $V_{Rd}$ ). O procedimento seguido para o cálculo de  $V_{Rd}$  é o descrito no parágrafo 2.2.

Esta análise foi realizada independentemente segundo duas direcções ortogonais (eixo X e eixo Y) e foram consideradas as acções sísmicas tipo 1 e tipo 2 definidas no RSA [1]. Destas análises obtiveram-se os resultados apresentados nos quadros 2 e 3, dos quais conclui-se que a situação condicionante para esta estrutura é a que corresponde à combinação 1 com actuação da acção sísmica tipo 2.

	Acção sísmica tipo 1 [1]			
	Combinação 1		Combinação 2	
	Direcção x	Direcção y	Direcção x	Direcção y
$V_{sd}$ (KN)	1523	1503	1523	1503
$V_{Rd}$ (KN)	596	532	621	616
Resistência ao sismo (%)	39%	35%	41%	41%

Quadro 2 – Resistência global da estrutura existente à acção sísmica tipo 1, ao nível do piso térreo.

	Acção sísmica tipo 2 [1]			
	Combinação 1		Combinação 2	
	Direcção x	direcção y	Direcção x	Direcção y
$V_{sd}$ (KN)	2188	2109	2188	2109
$V_{Rd}$ (KN)	498	463	504	504
Resistência ao sismo (%)	23%	22%	23%	24%

Quadro 3 – Resistência global da estrutura existente à acção sísmica tipo 2, ao nível do piso térreo.

Verifica-se que, globalmente o edifício tem capacidade para resistir ao nível do piso térreo a 23% e 22% da acção sísmica regulamentar actuante definida no RSA [1], segundo as direcções X e Y, respectivamente, pelo que é necessário proceder ao reforço da estrutura.

### 3.4 Concepção do reforço da estrutura existente

São três as intervenções de reforço propostas para esta análise comparativa, correspondendo duas delas à introdução de novos elementos resistentes – paredes de betão armado e elementos metálicos - e uma ao reforço dos elementos existentes verticais por encamisamento com betão. O procedimento adoptado para a concepção de cada uma das intervenções de reforço envolveu um processo iterativo até se atingir níveis de resistência à acção sísmica da ordem dos 100% em todas as soluções de reforço.

Em todas as soluções, optou-se por concentrar nos elementos verticais o reforço necessário para dotar a estrutura do nível de segurança à acção sísmica regulamentar. Assim, impôs-se uma redistribuição dos esforços de forma que os momentos flectores (negativos) actuantes nos elementos horizontais (na ligação aos pilares) não excedam a sua capacidade resistente actual. Realiza-se em seguida a descrição de cada solução de reforço proposta.

#### a) Reforço por introdução de paredes de betão armado

Esta intervenção de reforço consiste na introdução de quatro paredes de betão armado (B25 eA400NR) com 2,5m de comprimento e 0,25m de espessura, a toda a altura do edifício.

Na concepção desta solução houve a preocupação de distribuir os elementos de reforço de modo que a estrutura apresente um bom comportamento face à acção sísmica e de forma a que estas nunca interfiram com a arquitectura do edifício. Desta forma, as paredes foram colocadas o mais simetricamente possível em planta e na periferia do edifício, de modo a diminuir os efeitos de torção causados pela acção sísmica. Uma vez que a continuidade em altura dos elementos resistentes é um dos factores mais importantes para o bom comportamento sísmico, as paredes de betão são introduzidas ao longo de toda a altura do edifício. Na figura 4 representa-se esquematicamente, em planta, a localização dos elementos de reforço.

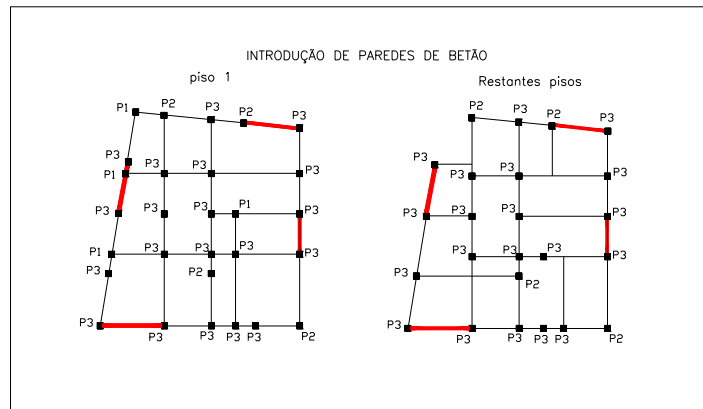


Figura 4 – Planta estrutural do edifício reforçado com introdução de paredes de betão.

### b) Reforço por introdução de elementos metálicos

Esta solução de reforço consiste na introdução de contraventamentos diagonais, constituídos por elementos metálicos - perfis LNP130.12 (aço Fe360), em quatro pórticos de betão existentes, ao longo de toda a altura do edifício (figura 5).

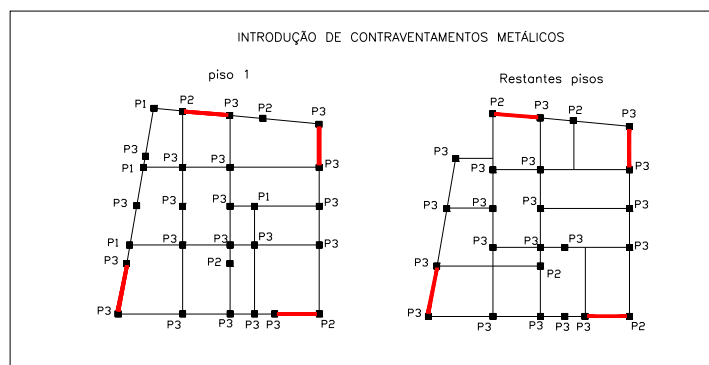


Figura 5: Planta estrutural do edifício reforçado com introdução de contraventamentos metálicos.

Analogamente ao referido no projecto de reforço com paredes, ao conceber este projecto procurou-se satisfazer os requisitos para que a estrutura apresente um bom comportamento sísmico. Optou-se por colocar os pórticos contraventados na periferia do edifício, garantindo-se assim um melhor comportamento da estrutura à torção.

### c) Reforço por encamisamento dos pilares existentes

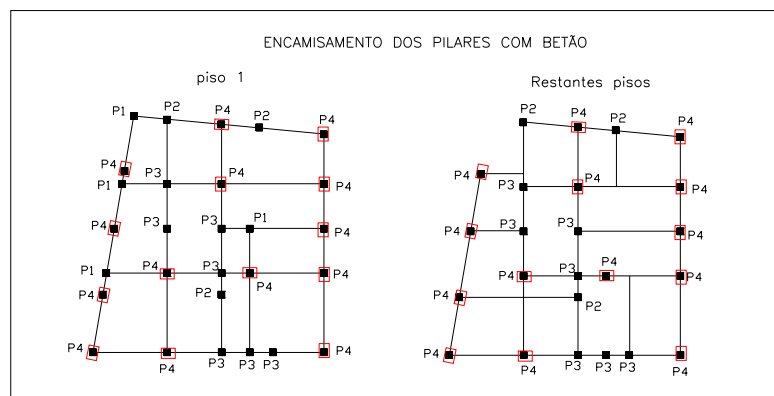


Figura 6: Planta estrutural do edifício reforçado por encamisamento dos pilares existentes.

Esta solução de reforço consiste em aumentar as secções de alguns dos pilares existentes através da técnica de encamisamento com betão projectado. Os pilares reforçados passam a ter secções de 0,75m por 0,50m desde o piso térreo até à cobertura do edifício. Ao conceber este projecto de reforço procurou-se que a estrutura fosse o mais regular possível quer em planta quer em altura.

Na figura 6 apresenta-se esquematicamente a planta estrutural deste projecto de reforço, onde se indicam os elementos reforçados.

### 3.5 Análise comparativa dos resultados obtidos para cada solução de reforço

Para facilitar a compreensão e análise adoptar-se-à neste caso de estudo a seguinte designação para as soluções de reforço:

- Reforço tipo A – introdução de paredes de betão armado;
- Reforço tipo B – introdução de contraventamentos metálicos;
- Reforço tipo C – encamisamento dos pilares existentes com betão.

#### a) Comparação de frequências das várias soluções de reforço

No quadro 4 é feita uma comparação entre as três soluções de reforço em termos de frequência correspondentes aos modos de translação segundo as direcções X e Y.

Descrição da solução de reforço	Frequência modo X (HZ)	Frequência modo Y (HZ)	Variação freq.x (%)	Variação freq.y (%)
Estrutura existente	0,85	0,80	-----	-----
Reforço da estrutura existente com a introdução de paredes de betão armado.	1,34	1,49	58%	86%
Reforço da estrutura existente com a introdução de elementos metálicos.	1,15	1,11	35%	39%
Reforço da estrutura existente por encamisamento dos pilares com betão.	1,29	1,40	52%	75%

Quadro 4 – Comparação de frequências das soluções de reforço propostas.

Do quadro 4 verifica-se que o reforço da estrutura com paredes de betão é o que confere à estrutura uma maior rigidez, sendo a concepção de reforço com contraventamentos metálicos a mais flexível.

Das frequências associadas a cada uma das soluções de reforço é possível concluir que a acção sísmica tipo 2 [1] é condicionante para as três soluções, uma vez que em todas elas a frequência própria fundamental é inferior a 2 HZ.

#### b) Comparação de deslocamentos entre as várias soluções de reforço

A verificação de que a capacidade resistente das estruturas é suficiente para evitar danos ou limitações no seu uso consiste em limitar os deslocamentos relativos entre pisos, através da equação 6 [2]. Para este caso de estudo o valor limite é 24mm.

$$d_r = v \times 0.004 \times h = 2 \times 0.004 \times 3 = 0.024m \quad (6)$$

As análises efectuadas para a obtenção dos valores dos deslocamentos relativos entre pisos foram realizadas independentemente segundo duas direcções ortogonais. Os resultados das referidas análises apresentam-se em gráficos, sendo incluídas em simultâneo as respostas das três soluções de reforço, de forma a facilitar um estudo comparativo das mesmas. Refere-se que se apresentam apenas os resultados referentes ao alinhamento que está sujeito a maiores deslocamentos (assinalado na figura 1 com um circulo).

Nas figuras 7 e 8 apresentam-se os deslocamentos relativos entre pisos respectivamente segundo as direcções X e Y, correspondentes ao alinhamento referido anteriormente. A partir dos gráficos das figuras

referidas conclui-se que o reforço com paredes de betão é o que confere à estrutura menores deslocamentos.

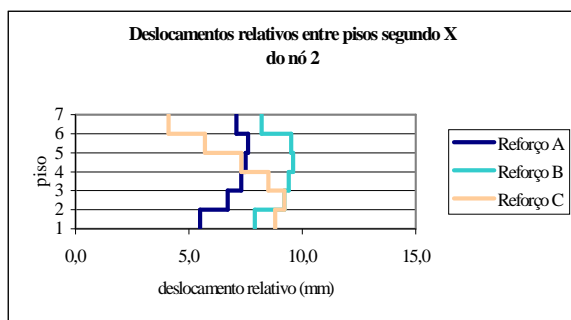


Figura 7: Deslocamentos relativos entre pisos das estruturas reforçadas, segundo X

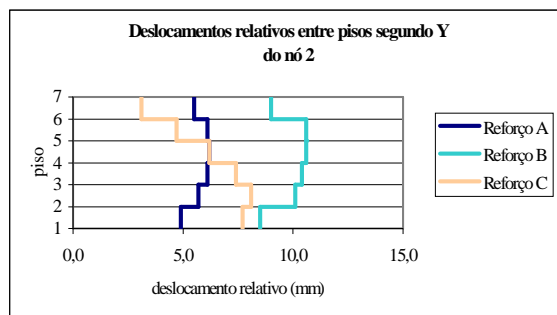


Figura 8: Deslocamentos relativos entre pisos das estruturas reforçadas, segundo Y.

### c) Comparação de esforços entre as várias soluções de reforço

Através de um processo iterativo foram optimizados os projectos correspondentes a cada solução de reforço, visando atingir ao nível de todos os pisos da estrutura uma resistência total da ordem de pelo menos 100%. Realizou-se a comparação entre a força de corte basal total exigida à estrutura e a força de corte basal total absorvida pela mesma, independentemente segundo duas direcções ortogonais X e Y. Esta análise foi realizada ao nível do piso térreo, do piso 3 e do piso 7, uma vez que são os pisos mais condicionantes devido à variação das secções dos elementos verticais.

Refere-se que todo o estudo foi realizado para as combinações de acções 1 e 2 (expressões 4 e 5) e que se verificou que para todas as soluções de reforço a combinação condicionante é a tipo 2. Assim, todos os resultados que se apresentam em seguida correspondem à situação mais desfavorável – acção sísmica tipo 2 [1] e combinação 2.

Das análises realizadas resultaram os valores apresentados nos quadros 5 (paredes de betão), 6 (contraventamentos metálicos) e 7 (encamisamento de pilares), dos quais se verifica que ao nível de todos os pisos as estruturas apresentam resistência suficiente para absorver a acção sísmica regulamentar. Relativamente à solução de reforço com encamisamento dos pilares, refere-se que a diminuição do nível de resistência verificado ao nível do piso 3 justifica-se devido à redução das secções dos pilares existentes, neste piso.

	Reforço com introdução de paredes de betão			
	Direcção	Piso térreo	Piso 3	Piso 7
Força de corte exigida à estrutura - $V_{sd}$ (KN)	X	2453	1921	736
	Y	2474	1901	593
Força de corte absorvida pela estrutura - $V_{rd}$ (KN)	X	2439	2267	2008
	Y	2554	2361	2166
Resistência ao sismo da estrutura reforçada (%)	X	99%	118%	273%
	Y	103%	124%	365%

Quadro 5: Resistência em altura da estrutura reforçada com paredes de betão.

	Reforço com contraventamentos metálicos			
	Direcção	Piso térreo	Piso 3	Piso 7
Força de corte exigida à estrutura - $V_{sd}$ (KN)	X	2554	1947	611
	Y	2467	1962	633
Força de corte absorvida pela estrutura - $V_{rd}$ (KN)	X	2965	2255	1989
	Y	2699	2199	1989
Resistência ao sismo da estrutura reforçada (%)	X	116%	116%	326%
	Y	109%	112%	314%

Quadro 6: Resistência em altura da estrutura reforçada com contraventamentos metálicos.

	Reforço com encamisamento dos pilares			
	Direcção	Piso térreo	Piso 3	Piso 7
Força de corte exigida à estrutura - $V_{sd}$ (KN)	X	2567	2495	1113
	Y	2480	2195	1065
Força de corte absorvida pela estrutura - $V_{rd}$ (KN)	X	3086	2556	1456
	Y	3024	2448	1406
Resistência ao sismo da estrutura reforçada (%)	X	120%	102%	131%
	Y	122%	112%	132%

Quadro 7: Resistência em altura da estrutura reforçada através de encamisamento dos pilares.

### 3.6 Análise dos custos associados a cada intervenção de reforço

Nesta secção apresentam-se as estimativas dos custos directos associadas às intervenções de reforço propostas. Nas estimativas apresentadas foram considerados os custos do material necessário ao reforço, incluindo fundações e também os trabalhos inerentes a esta operação, como a remoção do betão desagregado, limpeza e tratamento das superfícies de betão e das armaduras existentes. Dependendo do tipo de reforço os valores unitários adoptados são:

- Reforço com introdução de paredes de betão ----- 36 000\$/m<sup>2</sup>
- Reforço com introdução de contraventamentos metálicos – 16 000\$/m<sup>2</sup>
- Reforço por encamisamento dos pilares ----- 36 000\$/m<sup>2</sup>

No quadro 8 apresentam-se os custos directos globais associados a cada uma das soluções de reforço propostas, do qual se verifica que a solução mais dispendiosa corresponde ao reforço por encamisamento dos pilares, com betão projectado. A solução de reforço com introdução de elementos metálicos, para esta estrutura, é a mais económica.

	Custos directos relativos aos materiais e mão de obra
Reforço da estrutura através da introdução de paredes de betão armado	23.000 000 contos
Reforço da estrutura através da introdução de elementos metálicos de contraventamento	17.000 000 contos
Reforço da estrutura através do encamisamento com betão projectado dos pilares existentes	29.000 000 contos

Quadro 8: Estimativa de custos associados às intervenções de reforço propostas.

Em relação ao reforço das fundações, para as soluções com introdução de paredes e de elementos metálicos, devido aos elevados esforços que surgem ao nível das fundações, optou-se pelo reforço das mesmas através da introdução de ancoragens “Gewi” com 10m de comprimento. Na solução por encamisamento dos pilares, prevê-se o aumento das fundações directas existentes, de forma a acompanharem o aumento dos pilares. Assim as dimensões das sapatas são aumentadas de 0,60m para cada um dos seus lados.

## 4. REFERÊNCIAS

- [1] “Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes”, Imprensa Nacional-Casa da Moeda de Lisboa, 1984.
- [2] Eurocódigo 8 “Estruturas em regiões sísmicas-projecto”, Comissão das Comunidades Europeias, Processos Industriais, Outubro de 1993.
- [3] Manual do programa automático SAP90
- [4] Carreira, A.: “Concepção do reforço sísmico em edifícios com estrutura de betão armado, 1999”.